

种植密度与施氮量对夏玉米淀粉粒分布及糊化特性的影响

石德杨^{1,2}, 李艳红^{2,3}, 袁堂玉¹, 矫岩林¹, 赵健¹, 董树亭², 夏德君^{1*}

(1. 山东省烟台市农业科学研究院粮油作物所, 山东烟台 265500; 2. 山东农业大学农学院/作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018; 3. 烟台市农业技术推广中心土肥站, 山东烟台 264000)

摘要 以黄淮海地区普通玉米国家区域试验的对照品种郑单 958 为试验材料, 设 67 500、82 500 株/hm² 2 个种植密度水平和 0、180、270 kg/hm² 3 个施氮量水平, 研究种植密度及施氮量对夏玉米淀粉粒分布及淀粉糊化特性的影响。试验结果表明, 种植密度、施氮量单因子及其交互作用对玉米淀粉粒的体积分布存在显著影响, 且施氮量是影响淀粉粒体积分布的主要因素。增加施氮量, <3.5 μm 与 3.5~7.4 μm 淀粉粒体积比下降, >7.4 μm 淀粉粒体积比增加; 随着氮肥用量增加, 籽粒产量、粒重、总淀粉含量、支链淀粉含量, 以及玉米淀粉的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、崩解值、回复值增加; 相反, 籽粒直链淀粉含量、直/支比以及玉米淀粉的峰值时间、糊化温度降低。种植密度与施氮量对淀粉粒体积分布的影响效果相反。该研究中, 在种植密度 82 500 株/hm²、氮肥用量 270 kg/hm² 条件下, 玉米籽粒淀粉平均粒径较大, 大型淀粉粒比例较高, 其糊化特性和淀粉组成较优, 且能兼顾籽粒产量。

关键词 玉米淀粉; 种植密度; 施氮量; 粒度分布; 热力学特性

中图分类号 S513 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)08-0035-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.08.010



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Planting Density and Nitrogen Application Rate on the Starch Granule Size Distribution and Pasting Properties of Summer Maize

SHI De-yang^{1,2}, LI Yan-hong^{2,3}, YUAN Tang-yu¹ et al (1. Institute of Cereals and Oil Crops, Yantai Academy of Agricultural Sciences, Shandong Province, Yantai, Shandong 265500; 2. Agronomy College of Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018; 3. Soil and Fertilizer Station of Yantai Agricultural Technology Promotion Center, Yantai, Shandong 264000)

Abstract Taking Zhengdan 958, a control variety in the national regional test of normal maize in Huang-Huai-Hai Region, as the experimental material, two planting density levels of 67 500 and 82 500 plants/hm² and three nitrogen application rates of 0, 180, and 270 kg/hm² were set to study the effect of planting density and nitrogen application rate on the starch granule size distribution and pasting properties of summer maize. The results showed that the starch granule size distribution was significantly affected by the single factor and interactions of plant density and nitrogen rate, and nitrogen rate was the major factor that change the granule size distribution. With the increase of nitrogen application rate, the starch granule volume ratio of < 3.5 μm and 3.5~7.4 μm decreased, and the starch granule volume ratio of > 7.4 μm increased; as the amount of nitrogen fertilizer increases, grain yield, grain weight, total starch content, amylopectin content, as well as the peak viscosity, trough viscosity, final viscosity, breakdown and setback value of corn starch increased; on the contrary, the amylose content, amylose/branched ratio, peak time and gelatinization temperature of corn starch decreased. The effect of planting density and nitrogen application rate on the volume distribution of starch grains was opposite. In this study, under the condition of planting density of 82 500 plants/hm² and nitrogen fertilizer rate of 270 kg/hm², the ratio of large starch was higher, which resulted in better gelatinization properties and starch composition, and the grain yield could be taken into account.

Key words Maize starch; Planting density; Nitrogen rate; Granule size distribution; Thermodynamic characteristic

玉米籽粒中含有 70%~75% 的淀粉, 是我国淀粉生产的主要原料。2018 年, 我国玉米淀粉产量达 2 815 万 t, 占淀粉总产量的 94.0%。玉米淀粉以颗粒态存在于籽粒胚乳中, 其大小、分布是淀粉重要的品质性状, 对淀粉的理化特性有显著影响^[1-4], 同时受品种、生长环境及栽培措施等的协同控制^[4-5]。种植密度与施氮是夏玉米产量增加和品质改善的重要栽培措施^[6-9]。因此, 阐明种植密度与施氮量对淀粉粒分布及淀粉糊化特性的影响能够促进玉米深加工产业的发展。

水分、品种、种植密度、施氮量等均是玉米高产优质栽培中主要的农艺措施, 关于水分、品种、施氮量等对玉米籽粒淀粉粒分布及品质的影响研究较多^[4-8], 但关于种植密度和施氮对玉米淀粉粒粒度分布和淀粉糊化特性的研究报道较少。为此, 笔者设置 2 个种植密度、3 个施氮量, 采用激光衍射粒度分析仪分析玉米胚乳中的淀粉粒体积、表面积和数目的分

布对种植密度和施氮量的响应, 旨在为玉米淀粉品质调控提供理论依据, 也为玉米淀粉的定向加工利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计 试验以黄淮海地区普通玉米国家区域试验的对照品种郑单 958 为供试材料。于 2016 年在山东农业大学黄淮海区域玉米技术创新中心(36°18'N, 117°12'E)与山东农业大学作物生物学国家重点实验室进行。供试土壤为壤土, 0~20 cm 土层含全氮 0.89 g/kg, 速效氮、速效磷、速效钾含量分别为 84.5、50.65 和 86.15 mg/kg。试验设 2 个种植密度水平(分别为 D₁ 67 500 株/hm²、D₂ 82 500 株/hm²), 3 个施氮量水平(分别为 N₀ 0 kg/hm²、N₁₈₀ 180 kg/hm²、N₂₇₀ 270 kg/hm²), 共 6 个处理, 3 次重复, 等行距种植, 行距 60 cm, 随机排列。施用氮肥为尿素, 分别在拔节期和大喇叭口期按照 4:6 的比例施入。各处理基施磷肥(P₂O₅) 120 kg/hm² 和钾肥(K₂O) 240 kg/hm², 磷肥为过磷酸钙, 钾肥为氯化钾。6 月 17 日播种, 按高产田水平进行田间管理。

收获期取未被取样破坏的 3 行 5 m 范围内全部果穗进行考种、测产。考种后全部果穗脱粒, 晒干后混匀备用。

基金项目 国家重点研发计划(2018YFD0300604); 山东省现代农业产业技术体系建设项目(SDAIT-02-15)。

作者简介 石德杨(1987—), 男, 山东临沂人, 农艺师, 博士, 从事玉米栽培生理研究。* 通信作者, 高级农艺师, 从事玉米育种及栽培技术研究。

收稿日期 2020-08-27

1.2 测定项目与方法

1.2.1 淀粉粒分布。参照 Peng 等^[10-11]的方法提取淀粉。取 15 粒玉米籽粒于 50 mL 0.5 mol/L 的 NaCl 溶液浸泡 16 h, 剥除种皮和胚后于研钵中研磨, 匀浆过 200 目筛, 固体部分继续研磨、过滤, 重复 3 次。淀粉匀浆在 3 300 r/min 离心 10 min, 去掉上清液, 加入 25 mL 去离子水, 混合均匀后再离心, 重复 4 次。去除上清液后, 分别用 2% SDS、0.2% NaOH、蒸馏水清洗, 重复 4 次, 风干后于 -20 °C 下储存备用。

采用 LS 13320 激光衍射粒度分析仪(贝克曼库尔特有限公司, 美国)进行淀粉粒分析。取 50 mg 淀粉放入离心管, 加入 5 mL 蒸馏水超声 30 s 后进样, 根据激光衍射法进行自动分析。

1.2.2 淀粉糊化特性。采用 Rapid Visco Analyzer(Newport Scientific 仪器公司, 澳大利亚), 参考《小麦、黑麦及其粉类和淀粉糊化特性测定快速粘度仪法》(GB/T 24853—2010)测定淀粉的糊化特性。

1.2.3 淀粉及其组分含量。玉米直、支链淀粉含量测定参照双波长法^[12]。

1.3 统计分析 应用 Microsoft Excel、SPSS 19.0、RVA 黏度分析仪和 LS13320 激光衍射粒度分析仪自带软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 种植密度及施氮量对玉米淀粉粒体积分布的影响 该试验中各处理玉米样品的淀粉粒分布趋势相似, 成熟期玉米淀粉粒的粒径分布范围为 0.37~33.08 μm, 但其上限值并不

一致, 为 24.95~33.08 μm。种植密度、施氮量及其交互作用对夏玉米淀粉粒分布有显著影响(表 1)。统计分析表明, 玉米淀粉平均粒径主要受施氮量影响, 其变异占总变异的 81.1%, 种植密度变异占总变异的 13.9%; 粒径 < 3.5 μm 所占比例的变异中, 种植密度为 27.6%, 施氮量为 66.4%, 交互作用为 6.0%; 粒径 3.5~7.4 μm 所占比例主要受施氮量的影响, 占总变异的 83.2%, 其次为种植密度, 为 15.8%, 交互作用对其影响不显著; 粒径 > 7.4 μm 所占比例主要受施氮量的影响, 占 76.7%, 种植密度占 21.5%; 施氮量对中位粒径有显著影响, 但是种植密度及种植密度与施氮量的交互作用对中位粒径影响不显著。

同一种植密度下, 随施氮量的增加, 粒径 < 3.5 μm 与粒径 3.5~7.4 μm 所占比例显著降低, 低密度(D₁)条件下, N₁₈₀及 N₂₇₀较 N₀处理分别降低 3.4%、7.1%及 5.0%、11.0%, 高密度(D₂)条件下, N₁₈₀及 N₂₇₀较 N₀处理分别降低 7.0%、7.8%及 7.8%、9.3%; 平均粒径及粒径 > 7.4 μm 所占比例随施氮量的增加显著增加, D₁条件下, N₁₈₀及 N₂₇₀较 N₀处理分别增加 2.3%、0.1%及 4.6%、1.5%, D₂条件下, N₁₈₀及 N₂₇₀较 N₀处理分别增加 4.9%、1.5%及 7.0%、1.7%。相同施氮量条件下, 增加种植密度, 粒径 < 3.5 μm 与粒径 3.5~7.4 μm 所占比例显著增加, N₀、N₁₈₀及 N₂₇₀条件下分别增加 5.0%、1.1%、1.9%及 2.4%、1.7%、4.3%; 相同施氮量条件下, 增加种植密度, 平均粒径与粒径 > 7.4 μm 所占比例显著降低, N₀、N₁₈₀及 N₂₇₀条件下分别降低 2.9%、0.4%、0.7%及 0.8%、0.2%、0.5%。

表 1 种植密度及施氮量对玉米淀粉粒体积分布的影响

Table 1 Effects of planting density and nitrogen application on starch grain volume distribution of maize

种植密度 Planting density 株/hm ²	施氮量 Nitrogen rate kg/hm ²	平均粒径 Mean diameter μm	中位粒径 Median diameter μm	比例 Proportion/%		
				粒径<3.5 μm	粒径 3.5~7.4 μm	粒径>7.4 μm
D ₁	N ₀	12.28±0.04 d	15.80±0.02 bc	9.37±0.02 b	7.01±0.10 b	83.62±0.10 c
	N ₁₈₀	12.56±0.06 c	16.14±0.04 abc	9.05±0.02 d	6.51±0.07 c	84.44±0.09 b
	N ₂₇₀	12.84±0.03 a	16.54±0.04 a	8.90±0.05 e	6.24±0.01 d	84.86±0.08 a
D ₂	N ₀	11.92±0.05 e	15.61±0.06 c	9.84±0.04 a	7.18±0.16 a	82.98±0.19 d
	N ₁₈₀	12.51±0.05 c	16.09±0.52 abc	9.15±0.05 c	6.62±0.06c	84.23±0.02 b
	N ₂₇₀	12.75±0.01 b	16.36±0.24 ab	9.07±0.01 d	6.51±0.01c	84.43±0.02 b
种植密度 Planting density (D)		71.0**	1.7	143.2**	21.8*	81.0**
施氮量 Nitrogen rate (N)		414.5**	15.2*	343.8**	114.5**	289.6**
种植密度×施氮量 Planting density× Nitrogen rate(D×N)		25.3**	0.2	31.0**	1.3	6.8*

注:表中数据为平均值±标准误;同一列中不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平差异达显著;F 值中 * 和 ** 分别表示处理间在 0.05 和 0.01 水平差异显著

Note: The data in the table are the mean ± standard error; different lowercase letters in the same column indicate that the difference between the different treatments is significant at the 0.05 level; in the F value, * and ** indicate that the treatments are significantly different at the 0.05 and 0.01 level respectively

2.2 种植密度和施氮量对夏玉米淀粉糊化特性的影响 由表 2 可看出, 施氮量可以显著影响峰值黏度、谷值黏度、崩解值、最终黏度、回复值、峰值时间及糊化温度, 且均达到极显著水平(P<0.01); 种植密度可显著影响除糊化温度外的各项特性; 两者交互作用可以显著影响玉米淀粉的谷值黏度、崩解值、最终黏度、回复值。种植密度与施氮量对玉米淀粉糊

化特性的影响效果相反。增施氮肥, 玉米淀粉峰值黏度、谷值黏度、崩解值、最终黏度及回复值升高, 峰值时间及糊化温度降低, 施氮有利于增加淀粉糊黏度的稳定性, 且所需糊化温度降低, 达到峰值的时间缩短。统计结果可以看出, 峰值黏度、谷值黏度、崩解值、最终黏度、峰值时间及糊化温度主要受施氮量影响, 其变异占总变异的 86.6%、84.9%、87.9%、

77.0%、55.3%及96.55%。

表 2 种植密度和施氮量对夏玉米淀粉糊化特性的影响

Table 2 Effects of planting density and nitrogen application rate on starch pasting properties of summer maize

种植密度 Planting density	施氮量 Nitrogen rate	峰值黏度 Peak viscosity RVU	谷值黏度 Trough viscosity RVU	崩解值 Breakdown RVU	最终黏度 Final viscosity RVU	回复值 Setback RVU	峰值时间 Peak time min	糊化温度 Pasting temperature ℃
D ₁	N ₀	242.3±1.7 e	123.5±1.2 e	118.8±2.9 c	209.9±0.7 d	86.4±0.4 c	4.15±0.05 b	76.52±0.18 a
	N ₁₈₀	263.3±1.2 c	135.7±0.8 c	127.6±0.8 b	226.5±1.4 c	90.8±0.6 a	4.04±0.05 d	75.60±0.22 b
	N ₂₇₀	312.3±1.9 a	165.8±0.7 a	146.5±1.7 a	254.1±0.8 a	88.3±0.4 b	3.94±0.06 d	74.75±0.15 d
D ₂	N ₀	224.1±1.4 f	114.2±1.2 f	109.9±0.9 d	199.4±1.4 f	85.2±0.2 c	4.24±0.05 a	76.74±0.21 d
	N ₁₈₀	246.2±2.7 d	126.8±0.3 d	119.4±3.0 c	207.1±0.9 e	80.3±0.6 d	4.13±0.02 b	75.40±0.20 bc
	N ₂₇₀	297.6±0.9 b	153.6±1.7 b	144.0±2.2 a	242.2±1.6 b	88.6±0.3 b	4.07±0.06 c	75.08±0.10 cd
种植密度 Planting density (D)		492.0**	576.1**	68.9**	897.6**	75.1**	20.7**	1.4
施氮量 Nitrogen rate (N)		3 204.1**	3 270.0**	547.4**	3 114.3**	18.0**	23.9**	127.1**
种植密度×施氮量 Planting density×Nitrogen rate D×N		1.9	6.3*	6.8*	35.0**	61.3**	0.2	3.2

注:表中数据为平均值±标准误;同一列中不同小写字母表示不同处理间在0.05水平差异达显著;*F*值中*和**分别表示处理间在0.05和0.01水平差异显著

Note:The data in the table are the mean ± standard error;different lowercase letters in the same column indicate that the difference between the different treatments is significant at the 0.05 level;in the *F* value, * and ** indicate that the treatments are significantly different at the 0.05 and 0.01 level respectively

2.3 种植密度和施氮量对夏玉米籽粒产量和淀粉组分含量的影响 种植密度、施氮量及两者交互作用显著影响夏玉米籽粒产量、粒重(表3)。增加种植密度与增施氮肥条件下,玉米籽粒产量显著增加,低种植密度条件下,N₁₈₀与N₂₇₀籽粒产量差异不显著;增施氮肥,籽粒粒重显著增加,增加种植密度,粒重降低。种植密度与施氮量可以极显著影响玉米籽粒

中总淀粉、直链淀粉、支链淀粉及直/支比,但两者交互作用对以上指标影响不显著。增施氮肥条件下,总淀粉、支链淀粉含量显著提高,直链淀粉及直/支比显著降低;增加种植密度,以上指标变化趋势与增施氮肥相反。表明增加种植密度与施氮有利于增加籽粒产量;施用氮肥有利于增加总淀粉和支链淀粉含量,降低直链淀粉含量和直/支比。

表 3 种植密度和施氮量对夏玉米籽粒产量和淀粉组分含量的影响

Table 3 Effects of planting density and nitrogen rate on the grain yield and starch component content of summer maize

种植密度 Planting density 株/hm ²	施氮量 Nitrogen rate kg/hm ²	产量 Yield kg/hm ²	粒重 Grain weight mg	总淀粉含量 Total starch content %	直链淀粉含量 Amylose content %	支链淀粉含量 Amylopectin content //%	直/支比 Ratio of amylose to amylopectin
D ₁	N ₀	7 374.1±197.4 d	300.0±6.2 b	68.0±1.2 c	31.2±1.3 b	68.8±1.3 b	0.45±0.03 b
	N ₁₈₀	8 992.5±186.6 b	318.7±1.6 a	70.4±0.5 ab	28.6±0.9 c	71.4±0.9 a	0.40±0.02 c
	N ₂₇₀	9 080.2±153.3 b	322.4±1.6 a	71.2±0.6 a	27.7±1.0 c	72.3±1.0 a	0.38±0.02 c
D ₂	N ₀	7 984.5±152.4 c	273.3±2.0 d	67.4±0.6 c	33.7±1.2 a	66.3±1.2 c	0.51±0.03 a
	N ₁₈₀	9 943.4±89.9 b	286.6±0.7 c	68.6±0.4 bc	30.6±0.3 b	69.4±0.3 b	0.44±0.01 b
	N ₂₇₀	10 215.6±492.2 a	289.7±2.1 c	70.3±0.9 ab	28.4±0.7 c	71.6±0.7 a	0.40±0.01 c
种植密度 Planting density (D)		528.3**	6 218.2**	20.0**	21.0**	28.4**	23.7**
施氮量 Nitrogen rate (N)		1 032.5**	954.5**	47.3**	47.0**	63.4**	52.9**
种植密度×施氮量 Planting density×Nitrogen rate(D×N)		24.6**	24.6**	2.1	2.1	2.8	2.5

注:表中数据为平均值±标准误;同一列中不同小写字母表示不同处理间在0.05水平差异达显著;*F*值中*和**分别表示处理间在0.05和0.01水平差异显著

Note:The data in the table are the mean ± standard error;different lowercase letters in the same column indicate that the difference between the different treatments is significant at the 0.05 level;in the *F* value, * and ** indicate that the treatments are significantly different at the 0.05 and 0.01 level respectively

2.4 淀粉粒体积分布与糊化特性、粒重和淀粉组分的关系 相关分析(表4)表明,小型淀粉粒体积比及中型淀粉粒体积比与峰值时间、糊化温度、直链淀粉含量和直/支比呈极显著正相关,与峰值黏度、谷值黏度、崩解值、最终黏度、产量、粒

重、总淀粉含量及支链淀粉含量呈极显著负相关;大型淀粉粒体积比与糊化特性、产量和淀粉组分含量的关系恰好相反,表现为与峰值黏度、谷值黏度、崩解值、最终黏度、产量、粒重、总淀粉含量及支链淀粉含量呈极显著正相关,与峰值

时间、糊化温度、直链淀粉含量及直/支比呈极显著负相关。

表4 淀粉粒体积分布与糊化特性、粒重和淀粉组分的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between starch granule volume distribution and pasting properties, grain weight, and starch components

淀粉粒类型 Starch granule type	峰值 黏度 Peak Viscosity	谷值 黏度 Trough viscosity	崩解值 Break- down	最终 黏度 Final viscosity	回复值 Setback	峰值 时间 Peak time	糊化 温度 Pasting tempe- rature	产量 Yield	粒重 Grain weight	总淀 粉含量 Total starch content	直链淀 粉含量 Amylose content	支链淀 粉含量 Amylo- pectin content	直/支比 Ratio of amylose to amylo- pectin
小型 Small	-0.817**	-0.813**	-0.813**	-0.790**	-0.305	0.834**	0.885**	-0.613**	-0.749**	-0.839**	0.909**	-0.925**	0.914**
中型 Medium	-0.861**	-0.876**	-0.831**	-0.847**	-0.305	0.880**	0.897**	-0.672**	-0.696**	-0.894**	0.885**	-0.891**	0.890**
大型 Large	0.855**	0.863**	0.838**	0.835**	0.308	-0.869**	-0.907**	0.658**	0.733**	0.881**	-0.919**	0.925**	-0.922**

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平差异显著

Note: * and ** indicate significant differences at 0.05 and 0.01 levels respectively

3 小结与讨论

淀粉主要由直链淀粉和支链淀粉组成的半晶体颗粒构成^[13]。该试验结果表明,夏玉米淀粉粒的直径范围在 0.37~33.08 μm。淀粉粒的大小受多种因素制约,包括环境因素、基因表达、生物合成过程等^[14]。张敏等^[8]研究发现,随着种植密度的增加,小麦胚乳中淀粉粒呈增大趋势,主要表现在淀粉粒的平均粒径、中位粒径和 A 型淀粉粒的比例随密度增大而提高;当密度增大到一定程度后,小淀粉粒的比例又提高。该研究结果表明,种植密度与施氮量显著影响玉米淀粉粒分布,施用氮肥,大型淀粉粒体积比例增大,中、小型淀粉粒比例降低,而种植密度对玉米淀粉粒体积分布的影响与施氮量相反。因此,在增加种植密度的前提下,适当的增施氮肥不仅有利于籽粒产量的增加,也能够有益于玉米生产,使其籽粒充实好,胚乳细胞增多。

前人研究^[15-16]指出,淀粉粒的大小与直链淀粉含量、糊化温度、膨胀势和水结合能力等淀粉理化性质显著相关。该研究表明,大型淀粉粒(粒径>7.4 μm)的比例与峰值黏度及崩解值呈极显著正相关,与糊化温度呈极显著负相关,而小型淀粉粒(<3.5 μm)和中型淀粉粒(3.5~7.4 μm)的比例与峰值黏度及崩解值呈显著负相关,与糊化温度呈显著正相关。

Takeda 等^[17]报道指出,淀粉的大颗粒包含更小、更少分支的直链淀粉;史春余等^[18]研究发现,甘薯块根直链淀粉、支链淀粉和总淀粉含量与小型(<3.36 μm)和中型(3.36~19.76 μm)淀粉粒体积比呈极显著负相关,与大型淀粉粒(>19.76 μm)呈极显著正相关;直/支比与小型和中型淀粉粒体积比呈极显著负相关,与大型淀粉粒呈极显著正相关。该研究结果也表明,大型淀粉粒的体积比例与直链淀粉含量呈正相关关系,与支链淀粉含量呈极显著负相关关系。因此,从淀粉粒分布与淀粉糊化特性及淀粉组分之间的相关关系上看,通过采用一定的栽培措施,调整淀粉粒径分布,可以改变淀粉组分及热力学特性,进而实现玉米淀粉品质的改良。

综上所述,种植密度、施氮量及其交互作用对玉米淀粉粒分布有显著影响,且施氮量是影响夏玉米淀粉粒粒度分布的关键因子。随施氮量增加,玉米淀粉粒平均粒径及大型淀粉粒比

例增加,淀粉峰值黏度、崩解值提高,峰值时间、糊化温度等降低。因此,适宜的种植密度及施氮量(82 500 株/hm²与 270 kg/hm²)能够兼顾籽粒产量与品质。

参考文献

- [1] 银永安,齐军仓,李卫华,等.小麦胚乳 A、B 型淀粉粒理化特性研究[J].中国农业科学,2010,43(11):2372-2379.
- [2] WEI C X,ZHANG J,CHEN Y F,et al.Physicochemical properties and development of wheat large and small starch granules during endosperm development[J].Acta physiology plant,2010,32(5):905-916.
- [3] AO Z H,JANE J L.Characterization and modeling of the A-and B-granule starches of wheat, triticale, and barley[J].Carbohydrate polymers,2007,67(1):46-55.
- [4] 陆大雷,郭换粉,董策,等.生长季节对糯玉米淀粉粒分布和热力学特性的影响[J].作物学报,2010,36(11):1998-2003.
- [5] KAUR A,SINGH N,EZEKIEL R,et al.Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations[J].Food chemistry,2007,101(2):643-651.
- [6] 刘萍,陆大雷,孙建勇,等.拔节期追氮对春播和秋播糯玉米淀粉胶凝和回生特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(3):543-551.
- [7] 张学林,王群,赵亚丽,等.施氮水平和收获时期对夏玉米产量和籽粒品质的影响[J].应用生态学报,2010,21(10):2565-2572.
- [8] 张敏,蔡瑞国,徐彩龙,等.种植密度对小麦胚乳淀粉粒度分布特征及产量的影响[J].麦类作物学报,2013,33(3):544-548.
- [9] 赵文明,陈艳萍,郑飞,等.种植密度对鲜食玉米苏科糯 3 号鲜果穗产量及商品品质的影响[J].安徽农业科学,2015,43(22):36-39.
- [10] PENG M,GAO M,ABDEL-AAL E S M,et al.Separation and characterization of A- and B-type starch granules in wheat endosperm[J].Cereal chemistry,1999,76(3):375-379.
- [11] MALOUF R B,HOSENEY R C.Wheat hardness:I.A method to measure endosperm tensile strength using tablets made from wheat flour[J].Cereal chemistry,1992,69(2):164-168.
- [12] 何照范.粮油籽粒品质及其分析技术[M].北京:农业出版社,1985:290-297.
- [13] IMBERTY A,BULÉON A,TRAN V,et al.Recent advances in knowledge of starch structure[J].Starch,1991,43(10):375-384.
- [14] LINDEBOOM N,CHANG P R,TYLER R T.Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: A review[J].Starch,2004,56(3/4):89-99.
- [15] SINGH J,SINGH N.Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars[J].Food chemistry,2001,75(1):67-77.
- [16] ZHOU M X,ROBARDS K,GLENNE-HOLMES M,et al.Structure and pasting properties of oat starch[J].Cereal chemistry,1998,75(3):273-281.
- [17] TAKEDA Y,TAKEDA C,MIZUKAMI H,et al.Structures of large, medium and small starch granules of barley grain[J].Carbohydrate polymers,1999,38(2):109-114.
- [18] 史春余,姚海兰,张立明,等.不同类型甘薯品种块根淀粉粒粒度的分布特征[J].中国农业科学,2011,44(21):4537-4543.